

Relación entre la temperatura del aire a diferentes horas en las aulas de clase universitarias para verificar el cumplimiento del confort térmico

Relationship between air temperature at different times in the classrooms to verify the achievement of thermal comfort

Giulianna Meléndez¹, Daniel González¹, Nicole Barria^{2*}

¹Licenciatura en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá, ²Departamento de Estadística y Economía, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen La exigencia higrotérmica rige las condiciones ambientales de las aulas de clase de forma que garantiza a los estudiantes y profesores el balance térmico del cuerpo humano en su intercambio de calor con el ambiente circundante. Siendo esta una condición importante para el desempeño de las labores académicas, se realizó un diseño de experimentos de modelo completamente al azar de un factor para examinar si existen diferencias significativas en la temperatura promedio a diferentes horas de medición, durante dos días diferentes, en 2018 y 2019, en los salones de clase, para así inspeccionar si se cumple con las recomendaciones de temperatura operativa planteadas por las normas ISO. Primeramente, se realizó una aleatorización de la unidad experimental, los 30 salones de la planta, para la recolección de datos. Luego de la toma de datos, se revisó el cumplimiento de los supuestos de Normalidad, Homocedasticidad e Independencia, primordiales para el modelo. Después, se hizo la comprobación de la hipótesis principal del modelo estadístico, mediante la prueba ANOVA. También, se realizó el contraste de las temperaturas medias de ambos años con el rango promedio de temperatura operativa óptima. Seguido, se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan para analizar qué horas del día causan o no diferencias significativas. Finalmente, se concluyó que sí existen diferencias significativas en las medias de las temperaturas para diferentes horas de medición para ambos años y que se cumple con las condiciones de operación sugeridas.

Palabras clave Aprendizaje, confort térmico, diseño experimental, higrotérmica, temperatura.

Abstract The hydrothermal requirement rules the environmental conditions present in the classrooms that guarantee the thermal balance of students and teachers by its exchange of heat with the surrounding environment. This being an important condition for good performance, a completely randomized one-factor model design was applied to verify the existence of a significant difference in the average temperature of classrooms, at different hours across two days in 2018 and 2019. Later, the mean temperatures were compared to ISO optimal operation temperature standards. Firstly, a randomization of the experimental unit of 30 classrooms was carried out for data collection. After the data collection, it was checked that the assumptions of normality, homoscedasticity, and independence were met, significant to the model design. Then, the main hypothesis was checked by employing the ANOVA test. Furthermore, a contrast of the mean temperatures from both years and the ISO standards was made. Later, the Duncan multiple comparison test was performed to analyze which hours may or may not cause a significant difference. Finally, it was concluded that there are significant differences in the means of temperatures during different hours and that, in these cases, the thermal conditions for a good performance were met.

Keywords Learning, thermal comfort, experimental design, hydrothermal, temperature.

*Corresponding author: nicole.barria@utp.ac.pa

1. Introducción

En el experimento presentado en este artículo se midió la temperatura en todos los salones de una facultad en diferentes horas del día en los años 2018 y 2019. Se hizo uso de la aleatorización para elegir la secuencia horaria de mediciones

en salones a las horas preestablecidas, de manera que todos los salones tienen la oportunidad de ser medidos en las horas establecidas. Esta secuencia horaria se utilizó en ambos años en que se tomaron las mediciones de temperatura.

1.1 Marco teórico

La temperatura es una magnitud física y está definida por la intensidad de calor o frío de un cuerpo o medio ambiente. La unidad del sistema internacional en la que se mide la temperatura es Kelvin (K) y, en sistema inglés, Fahrenheit (°F). Sin embargo, la unidad más comúnmente utilizada es Celsius (°C).

La temperatura es una propiedad mecánica de la materia y, mediante las fluctuaciones que pueden existir de esta, puede existir una reacción de la materia a ciertas condiciones.

Mediante esta, se pueden definir conceptos físicos diferentes como la masa, la presión, la energía, etc., y se pueden definir propiedades químicas en base a la naturaleza del objeto en estudio [1].

La higrometría o higriscopía se define como la parte de la física relativa al conocimiento de las causas productoras de la humedad atmosférica y de la medida de sus variaciones (como la humedad del aire, la temperatura y la sensación térmica) [2].

Según la ISO 77300, el confort térmico es “Una condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Es un término subjetivo usado para indicar satisfacción y bienestar físico y psicológico, en donde las condiciones climáticas de temperatura, humedad y movimiento del aire son óptimas y permiten un trabajo adecuado. En promedio, las personas encuentran cómoda una temperatura entre los 21°C y 26°C [3].

Aunque se disponga de un mecanismo automático de regulación del calor, no contar con ventilación o aire acondicionado adecuado afecta el rendimiento de las personas. Por ejemplo; en un aula de universidad, el poco o nulo funcionamiento correcto de aires acondicionados puede producir efectos como confusión, fatiga, problemas de concentración, deshidratación e incomodidad [4].

El diseño de experimentos completamente al azar (DCA) recibe su nombre debido a que todas las tomas experimentales se realizan en orden aleatorio completo. Si durante el estudio se hacen N cantidad de pruebas, éstas se deben realizar al azar, de forma que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos [5].

1.2 Planteamiento del problema

Las universidades son instituciones académicas que buscan formar estudiantes integral y profesionalmente. Estas cuentan con tres turnos: diurno, vespertino y nocturno, los cuales existen para poder cumplir con la demanda de estudiantes al nivel del país.

El confort térmico es un concepto vinculado al metabolismo del cuerpo humano, por lo cual involucra tanto los factores ambientales como las respuestas psicológicas, fisiológicas y sensoriales del ser humano [6]. Entonces, se puede identificar el confort de las aulas como un aspecto íntimamente relacionado con el aprendizaje.

A causa del cambio climático, la temperatura ambiente está presentando un alza preocupante; por lo tanto, es labor de las instituciones ajustar las condiciones de los acondicionadores de aire cada año para poder cumplir con las condiciones de confort.

Es importante que los estudiantes cuenten con las condiciones que les permitan realizar sus actividades académicas a su máximo potencial en cada uno de los turnos.

Por lo tanto, el problema de estudio será identificar la relación entre las distintas lecturas de temperaturas del aire a diferentes horas del día en dos años diferentes en las aulas de clases.

1.3 Objetivo general

Analizar si existen diferencias significativas en las medias de temperatura a diferentes horas de medición en dos años diferentes en las aulas de clase para verificar si hay confort térmico según lo estipulado en la ISO 7730 para el desarrollo de las actividades académicas.

1.4 Hipótesis de investigación

H_{0a} = No existen diferencias significativas en las medias de temperatura a diferentes horas de medición.

H_{1a} = Existen diferencias significativas en las medias de temperatura a diferentes horas de medición.

H_{0b} = Las condiciones térmicas dentro de las instalaciones universitarias no cumplen con lo reglamentado bajo la norma ISO 7730.

H_{1b} = Las condiciones térmicas dentro de las instalaciones universitarias cumplen con lo reglamentado bajo la norma ISO 7730.

1.5 Justificación del estudio

Las instituciones académicas son las encargadas de preparar a los futuros profesionales del país. Los estudiantes de la universidad deben permanecer en aulas de clases para cumplir con sus horas de clases magistrales. Por ende, estamos interesados en saber si la temperatura del aire acondicionado de la institución puede afectar a los estudiantes. El confort térmico dentro de las aulas de clase cumple un papel importante, tanto en el aprendizaje de los estudiantes como en la efectividad de enseñanza de los docentes. Al ser Panamá un país con un clima tropical húmedo, la ausencia de acondicionamiento de aire se vuelve un gran obstáculo para los estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes.

Igualmente, existen artículos donde está comprobado que, por el uso del aire acondicionado, se pueden causar alteraciones en la salud, algunos de ellos son la deshidratación, dolores de cabeza, alergias, enfermedades infecciosas, y muchos otros [7]. Las preferencias de las personas difieren de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar y sobre todo

con las condiciones interiores en las que normalmente se encuentran [8]. Sin embargo, el equilibrio de la temperatura dentro de la institución académica debe proporcionar el confort térmico requerido. Para examinar si las aulas de clases en la última planta de la institución académica presentan, en promedio, una temperatura adecuada para que los estudiantes puedan realizar sus clases de manera conforme, se realizó un diseño experimental a diferentes horas de medición.

2. Materiales y métodos

2.1 Descripción del experimento

La recolección de datos se realizó en la última planta de la institución académica, el 3 de mayo del 2018 y el 3 de septiembre de 2019. La primera fecha se eligió por conveniencia y la segunda fecha se eligió teniendo en cuenta las condiciones climatológicas del día de la primera medición: Mañana soleada y precipitaciones en la tarde. Ambas mediciones iniciaron y finalizaron el mismo día.

Para este caso, la variable de respuesta se ha definido como la temperatura de los salones (°C), la unidad experimental es cada uno de los 30 salones de la última planta, que representan la población, y el factor de interés son las horas de medición con sus niveles son 9:00am, 12:00 m.d., 3:00 p. m., 6:00 p.m. y 9:00 p.m.

Este experimento es unifactorial. Se seleccionó el Diseño Completamente al Azar, ya que este consideran dos fuentes de variabilidad. Se realizaron dos diseños de experimento; uno para cada año en que se realizaron las mediciones.

2.2 Materiales

Para las mediciones de temperatura se utilizó un Termohigrómetro EXTECH proporcionado y calibrado por la institución universitaria. Este instrumento presenta las siguientes especificaciones:

- Pinzas de sonda en el medidor o extendidas sobre cable de 457 mm.
- Indica lecturas de humedad y temperatura y puede ser calibrado usando la calibración opcional.
- Máx/mín con función de restauración.
- Temperatura de -10 a 60°C; precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ [9].

2.3 Softwares estadísticos utilizados

Estos softwares fueron los utilizados para el desarrollo metodológico y estadístico del diseño de experimento presentado.

Microsoft Excel, Aplicación de Microsoft Office que cuenta con hojas de cálculo que facilitan el desarrollo de tareas estadísticas y financieras con la ayuda de gráficos, fórmulas y programación.

Minitab, Programa especializado en funciones estadísticas de niveles básicos hasta los niveles más avanzados, que facilita, con una plataforma amigable, el análisis de datos.

PASW, Similar a la plataforma Minitab, es utilizada para la evaluación de datos de manera estadística. Sin embargo,

cuenta con una capacidad de base de datos superior, lo que facilita trabajos de análisis de mercado.

2.4 Modelo estadístico lineal

El modelo estadístico lineal, en la literatura, se representa por fórmula y por medio de una representación gráfica.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Donde,

j es horas de medición,

i es la temperatura

Y_{ij} es la i -ésima temperatura para la j -ésima hora de medición.

μ es la temperatura promedio de los salones.

τ_j es el efecto de la j -ésima hora de medición sobre la temperatura de los salones.

ε_{ij} es el error experimental.

En la tabla 1 se muestra la representación gráfica del modelo por columnas representando los niveles del factor de interés, en este caso, las horas de medición.

Tabla 1. Representación gráfica del modelo por columnas representando niveles

Observ.	Horas de medición				
	9AM	12PM	3PM	6PM	9PM
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Se consideraron las horas de medición como factor de Efectos Fijos y se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ para todas las pruebas estadísticas realizadas posteriormente.

2.4.1 Hipótesis principal del modelo estadístico lineal

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \quad (2)$$

H_1 = al menos una de las medias de las temperatura de los salones es diferente.

Para verificar la Hipótesis Principal se utilizó la prueba de ANOVA para una sola varianza. Esta hipótesis principal se utiliza para ambos años de medición.

Regla de decisión: se descarta H_0 si $F_0 \geq F_{\alpha, 4, 25}$

2.4.2 Proceso de aleatorización

En la tabla 2 se presenta el resultado del procedimiento de aleatorización que se realizó, haciendo uso de la herramienta Excel, mediante las funciones Aleatorio y Jerarquía. Se tomó en cuenta la población total de aulas de la facultad seleccionada. La aleatorización presentada es la utilizada para los dos días en que se realizan las mediciones en los diferentes años.

Tabla 2. Aleatorización de los salones para los dos años de medición

Codif.	Números aleatorios	Asignación de salones	Hora
1	22	424	9:00 AM
2	24	426	9:00 AM
3	27	429	9:00 AM
4	17	419	9:00 AM
5	21	423	9:00 AM
6	9	409	9:00 AM
7	3	403	12:00 PM
8	25	427	12:00 PM
9	20	422	12:00 PM
10	30	Salón de Prof.	12:00 PM
11	13	415	12:00 PM
12	11	411	12:00 PM
13	15	417	3:00 PM
14	19	421	3:00 PM
15	10	410	3:00 PM
16	4	404	3:00 PM
17	14	416	3:00 PM
18	26	428	3:00 PM
19	8	408	6:00 PM
20	5	405	6:00 PM
21	1	401	6:00 PM
22	23	425	6:00 PM
23	12	412	6:00 PM
24	6	406	6:00 PM
25	18	420	9:00 PM
26	2	402	9:00 PM
27	16	418	9:00 PM
28	7	407	9:00 PM
29	29	Salón Estud.	9:00 PM
30	28	Laboratorio	9:00 PM

Esto quiere decir que, para cada una de las horas asignadas del factor de interés, se realizaron seis mediciones de temperatura en los salones de la facultad, hasta culminar con la totalidad de ellos. Esto aplica para ambos años de medición.

2.4.3 Forma de recolección de datos

La tabla 3 muestra el formato de recolección de datos que se utilizó para tomar las temperaturas, que se diseñó a partir de la representación gráfica del Modelo Estadístico Lineal y con la asignación de los niveles del factor de interés, las horas del día, a las unidades experimentales, la totalidad de los salones de clase de la planta.

Tabla 3. Hoja de recolección de datos para los dos años de medición.

Nombre de la institución						
Nombre de la VR:			Nombre de la VI:			
Unidad Experimental			Instrumento		Calibración	
Observaciones	Niveles					Anotaciones Importantes
	9	12	3	6	9	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Nombre del responsable:			Fecha:			

2.4.4 Supuestos del modelo y pruebas de hipótesis

Para realizar la prueba de Análisis de Varianza, que permite examinar si se cumple la hipótesis del modelo, se deben realizar las verificaciones de los supuestos del modelo.

2.4.4.1 Prueba de normalidad

Para la verificación de este supuesto se utilizó la Prueba estadística de Anderson Darling y el gráfico de residuos normales en el software estadístico Minitab 15 para el análisis. Las hipótesis son:

H_0 = Los datos de la variable de respuesta tienen una distribución normal.

H_1 = Los datos de la variable de respuesta no tienen una distribución normal.

Regla de decisión: Si P_{value} de prueba $> \alpha$ no se rechaza H_0 .

2.4.4.2 Prueba de homocedasticidad

Para la verificación de este supuesto se utilizó la prueba estadística de Levine y el gráfico de prueba de varianzas iguales. Se utilizó Minitab 15 para el análisis. Las hipótesis son:

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 \quad (3)$$

H_1 = Las varianzas de la temperatura de los salones son diferentes con respecto a las horas de medición.

Regla de decisión: Si P_{value} de prueba $> \alpha$ no se rechaza H_0 .

2.4.4.3 Prueba de independencia

Para probar el supuesto de independencia, se utilizó la prueba gráfica de residuos vs orden y la prueba analítica Durbin-Watson en el software estadístico Minitab 15. Las hipóteiss son:

H_0 = Los datos de la temperatura no están correlacionados
 H_1 = Los datos de la temperatura están correlacionados
Regla de decisión: Si *Estadístico Durbin-Watson* \approx 2, no se rechaza H_0 .

3. Resultados y discusión

La tabla 4 muestra los resultados de las mediciones de temperatura tomadas a diferentes horas del año 2018.

Tabla 4. Tabla de datos obtenidos. Medición de temperaturas del 2018

Mediciones	Horas de medición				
	9:00 am	12 m	3:00 pm	6:00 pm	9:00 pm
1	26.3	26.2	23.6	24.6	21.1
2	25.8	26.4	23.4	24.8	22.8
3	22.3	23.9	24.4	23.6	19.8
4	24.4	24.3	26.6	22.4	21.3
5	24.5	23.2	24.1	21.9	21.4
6	25.2	23.5	22.4	23.1	20.2
Totales/horas	148.2	147.5	144.5	140.4	126.6
Temperaturas promedio/horas	24.7	24.6	24.1	23.4	21.1
Gran total	117.9				
Temperatura media total	23.6				

La tabla 5 muestra los resultados de las mediciones de temperatura tomadas a diferentes horas del año 2019.

Tabla 5. Tabla de datos obtenidos. Medición de temperaturas del 2019

Mediciones	Horas de medición				
	9:00	12 m	3:00 pm	6:00 pm	9:00 pm
1	23.4	27.4	24.4	26.1	24.7
2	24.9	24.5	24.4	24.8	22.4
3	24.8	26.1	25.4	25.6	21.9
4	23.6	21.6	25.1	23.6	23.6
5	23.8	24.2	24.3	24.8	23.1
6	24.7	25.6	25.4	24.5	22.3
Totales/horas	145.2	149.	149	149.4	138
Temperaturas promedio/horas	24.2	24.9	24.8	24.9	23.0
Gran total	121.8				
Temperatura media total	24.4				

3.1 Verificación de los supuestos del modelo

Se realizó la verificación de los supuestos del modelo en dos métodos: Método gráfico y Prueba Analítica. Mediante los valores obtenidos en esta última, se realizó el contraste de hipótesis planteado para cada supuesto.

3.1.1 Normalidad

La figura 1 muestra el gráfico normal de residuos y los resultados de la prueba analítica Anderson-Darling para el año 2018.

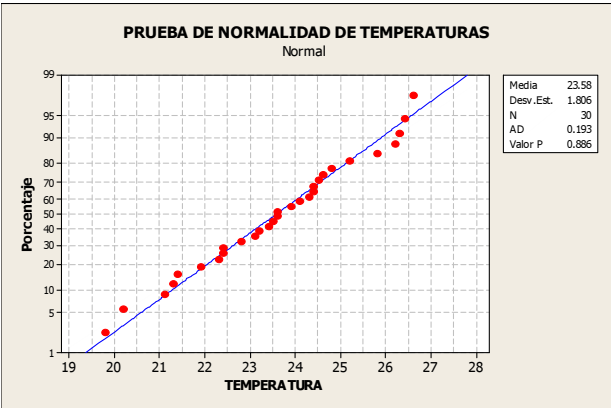


Figura 1. Gráfica normal de residuos y prueba de normalidad del año 2018.

El gráfico normal de residuos muestra un comportamiento bastante lineal de los datos de temperatura. Existen cuatro datos bastante alejados de la línea de tendencia, pero, la mayoría de los datos, se encuentran dentro de la misma. Para la prueba Anderson Darling,

Como,

$$0.886 > 0.05 \tag{4}$$

no se rechaza H_0 .

Se concluye que los datos de temperatura del año 2018 presentan una distribución normal.

La figura 2 muestra el gráfico normal de residuos y los resultados de la prueba analítica Anderson-Darling para el año 2019.

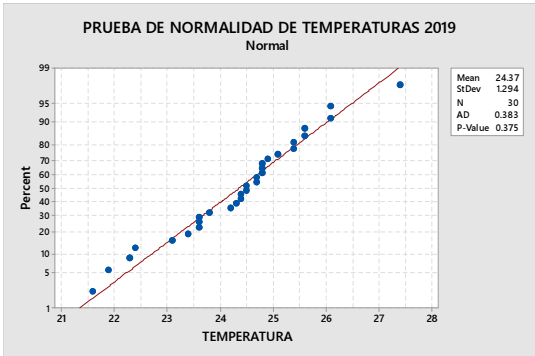


Figura 2. Gráfica normal de residuos y prueba de normalidad del año 2019.

El gráfico normal de residuos muestra un comportamiento bastante lineal; sin embargo, a diferencia del año 2018, existen más valores fuera de la línea de tendencia. Para la prueba Anderson Darling,

Como,

$$0.375 > 0.05 \quad (5)$$

no se rechaza H_0 .

Se concluye que los datos de temperatura del año 2019 presentan una distribución normal.

3.1.2 Homocedasticidad

La figura 3 representa la prueba de varianzas iguales de la temperatura con respecto a las horas de medición y la prueba de Levine del año 2018.

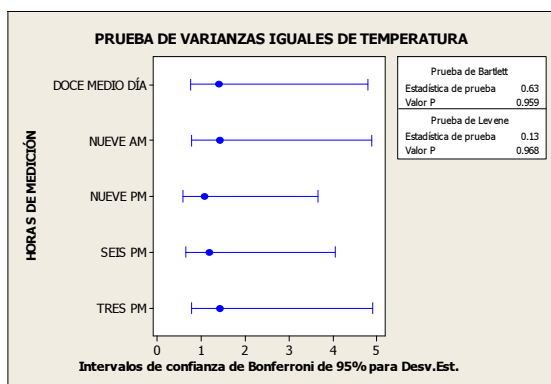


Figura 3. Gráfica de prueba de varianzas iguales y prueba de Levine de 2018.

Gráficamente, se observa poca variabilidad en los datos de temperatura con respecto a las horas de medición. Se pueden notar escasas variabilidades a las 9 p.m. y a las 6 p.m., pero en general son bastante similares. Según la prueba analítica Levene,

$$0.958 > 0.05 \quad (6)$$

no se rechaza H_0 .

Se concluye que los datos de temperatura tienen varianzas iguales con respecto a las horas de medición de 2018.

La figura 4 representa la prueba de varianzas iguales de la temperatura con respecto a las horas de medición y la prueba de Levine del año 2019.

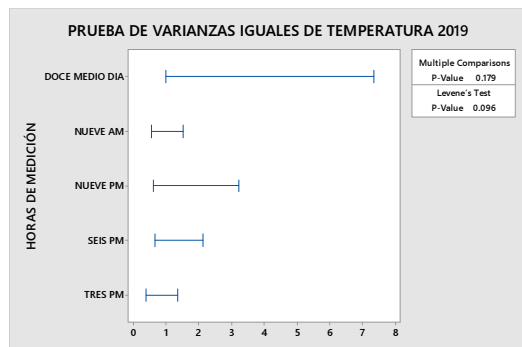


Figura 4. Gráfica de prueba de varianzas iguales y prueba de Levine de 2019.

Gráficamente, se observa que hay una gran variabilidad en los datos de temperatura, en especial, los datos de las 12:00 p.m. El resto de los datos mantienen variabilidades similares. Según la prueba analítica Levene,

$$0.096 > 0.05 \quad (7)$$

No se rechaza H_0 .

Se concluye que los datos de temperatura tienen varianzas iguales con respecto a las horas de medición de 2019.

3.1.3 Independencia

La figura 5 muestra los residuos versus el orden de las observaciones para verificar el supuesto de independencia para el año 2018.

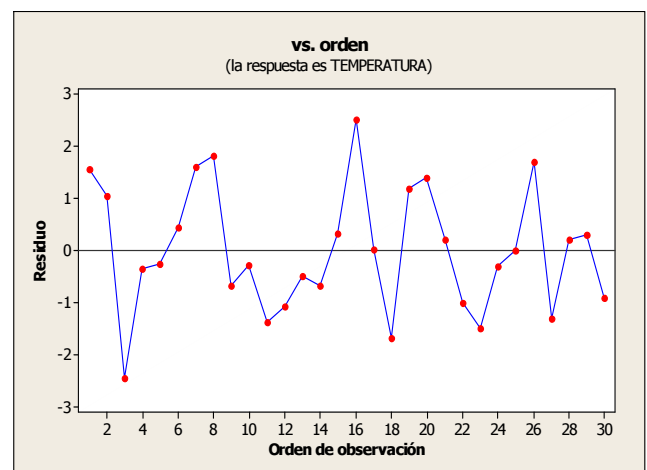


Figura 5. Gráfica de residuos vs orden de la variable respuesta de temperatura de año 2018.

El gráfico de residuos vs orden permite concluir que los datos de temperatura no tienen correlación, quiere decir, son independientes.

Según la prueba analítica Durbin-Watson, obtenida del software estadístico Minitab,

$$\text{Estadístico de Durbin-Watson} = 1.46522 \quad (8)$$

Como el estadístico de Durbin-Watson toma un valor de 1.465, se acerca más al valor de 2; por lo que no se descarta la hipótesis nula y se concluye que las medidas de temperatura en las aulas de clase en el 2018 son independientes.

La figura 6 muestra los residuos versus el orden de las observaciones para verificar el supuesto de independencia para el año 2019.

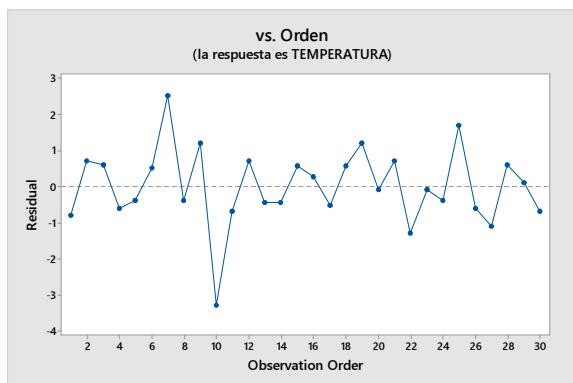


Figura 6. Gráfica de residuos vs orden de la variable respuesta de temperatura de año 2019.

El gráfico de residuos vs orden muestra que los datos de temperatura no tienen correlación por el comportamiento desordenado de la gráfica.

Según la prueba analítica Durbin-Watson, obtenida del software estadístico Minitab,

$$\text{Estadístico de Durbin-Watson} = 1.66817 \quad (9)$$

Como el estadístico de Durbin-Watson toma un valor de 1.668, obtenido en el software Minitab, se acerca más al valor de 2; por lo que no se descarta la hipótesis nula y se concluye que las medidas de temperatura en las aulas de clase en el 2019 son independientes.

3.2 Contraste de la hipótesis principal del modelo

Como último punto del modelo, se comprobó la hipótesis principal del diseño completamente al azar para ambos años 2018 y 2019. Para esto, se realiza la prueba de análisis de varianza del año 2018 para un solo factor por medio del software estadístico Minitab 15. En la tabla 6 se muestran los resultados de la prueba ANOVA para el año 2018.

Tabla 6. Prueba ANOVA para las varianzas de las temperaturas según las horas de medición en el año 2018

Análisis de Varianza 2018						
Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor Fc	Valor p	Valor Ft
Horas	4	52.87	13.217	7.92	0.000	2.7587
Error	25	41.71	1.668			
Total	29	94.58				

$$2.75871047 \leq 7.92 \quad (10)$$

Como el valor calculado es mayor que el valor teórico, se rechaza la hipótesis nula. También, el valor P de la prueba ANOVA (0.000) es menor al nivel de significancia propuesto (0.05), por lo tanto se concluye, que sí existe una diferencia

significativa en las medias de las temperaturas para diferentes horas de medición en el año 2018, lo que valida la H_{1a} , hipótesis de investigación.

Ahora, se realiza la prueba de análisis de varianza del año 2019 para un solo factor por medio del software estadístico Minitab 15. En la tabla 7 se muestran los resultados de la prueba ANOVA para el año 2019.

Tabla 7. Prueba ANOVA para las varianzas de las temperaturas según las horas de medición en el año 2019

Análisis de Varianza 2019						
Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor Fc	Valor p	Valor Ft
Horas	4	16.09	4.023	3.10	0.034	2.7587
Error	25	32.47	1.299			
Total	29	48.57				

$$2.75871047 \leq 3.10 \quad (11)$$

Como el valor calculado es mayor que el valor teórico, se rechaza la hipótesis nula. También, el valor P de la prueba ANOVA (0.034) es menor al nivel de significancia propuesto (0.05), por lo tanto, se concluye, que sí existe una diferencia significativa en las medias de las temperaturas para diferentes horas de medición en el año 2019, lo que valida la H_{1a} , hipótesis de investigación.

3.3 Verificación del cumplimiento de confort

La ISO 7730, junto con el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) de la Unión Europea, establece un rango de temperaturas promedio óptimas en condiciones veraniegas para trabajos operativos, detallado en la tabla 8.

Tabla 8. Temperatura operativa promedio [10]

Condiciones	Veraniegas
Temperatura Operativa	23°– 25°C

En la tabla 9 se muestra los resultados de las temperaturas medias de los años 2018 y 2019, extraídas de la tabla 4.

Tabla 9. Temperaturas medias en los años 2018 y 2019

Temperatura Media 2018	Temperatura Media 2019
23.6°C	24.4°C

Estos resultados permiten concluir que las condiciones térmicas dentro de las instalaciones universitarias cumplen con lo reglamentado bajo la norma ISO 7730 para ambos años de medición, lo que valida la hipótesis de investigación H_{1b} .

3.4 Análisis adicionales

Los análisis adicionales se realizan con el objetivo de contar con los parámetros necesarios que permitan recavar información adicional que aporta valor y detalle a la investigación para brindar recomendaciones más acertadas.

3.4.1 Parámetro del modelo

En la tabla 10 se presentan los datos de media y desviación estándar por cada hora de medición en el año 2018. Estos valores se calcularon por el software estadístico Minitab 15.

Tabla 10. Parámetros del modelo por cada hora de medición para el año 2018

Horas de Medición	N	N*	Media (°C)	Desv. Est. (°C)
12:00 p. m.	6	0	24.583	1.382
9:00 a. m.	6	0	24.750	1.407
9:00 p. m.	6	0	21.100	1.051
6:00 p. m.	6	0	23.400	1.164
3:00 p. m.	6	0	24.083	1.412

En la tabla 11 se presentan los datos de media y desviación estándar por cada hora de medición en el año 2019. Estos valores se calcularon por el software estadístico Minitab.

Tabla 11. Parámetros del modelo por cada hora de medición para el año 2019

Horas de Medición	N	N*	Media (°C)	Desv. Est. (°C)
12:00 p. m.	6	0	24.900	1.986
9:00 a. m.	6	0	24.200	0.672
9:00 p. m.	6	0	23.000	1.032
6:00 p. m.	6	0	24.900	0.872
3:00 p. m.	6	0	24.833	0.524

3.4.2 Coeficientes de determinación

La ecuación (12) muestra el cálculo del coeficiente de determinación R^2 para el año 2018.

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{Y_j^2}{n} - \frac{Y^2}{nk}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{nk}} = \frac{52.87}{94.58} = 0.5590 \quad (12)$$

Como el valor de R^2 se encuentra entre 0 y 1, se concluye que un 55.90% de la variabilidad de los valores de temperatura de los salones se explica por la variable horas con los datos del 2018. El valor restante de 44.10% se debe a otros factores que no han sido discutidos en este estudio.

La ecuación (13) muestra el cálculo del coeficiente de determinación R^2 para los datos obtenidos en el año 2019.

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{Y_j^2}{n} - \frac{Y^2}{nk}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{nk}} = \frac{16.09}{48.57} = 0.3313 \quad (13)$$

Como el valor de R^2 se encuentra entre 0 y 1, se concluye que un 33.13% de la variabilidad de los valores de temperatura de los salones se explica por la variable horas con los datos del 2018. El valor restante de 66.87% se debe a otros factores que no han sido discutidos en este estudio.

3.4.3 Pruebas de comparaciones múltiples de Duncan

Las pruebas de comparaciones múltiples nos permiten examinar en qué nivel del factor o qué pares de medias son las que ocasionan que existan diferencias significativas, es decir, cuáles son las horas del día donde la temperatura se aleja de la media.

Las medias de las horas de medición para el año 2018, presentadas en los parámetros del modelo, son las utilizadas para el ordenamiento ascendente presentado en la tabla 12.

Tabla 12. Cuadro de medias ordenadas de forma ascendente. Datos 2018

Medias	Valores
$\bar{Y}_5 = 9:00 \text{ P.M.}$	21.1
$\bar{Y}_4 = 6:00 \text{ P.M.}$	23.4
$\bar{Y}_3 = 3:00 \text{ P.M.}$	24.1
$\bar{Y}_2 = 12:00 \text{ P.M.}$	24.6
$\bar{Y}_1 = 9:00 \text{ A.M.}$	24.7

En la tabla 13 se introduce el cuadro de rangos múltiples, que nos permite planear los contrastes de hipótesis.

Tabla 13. Cuadro de rangos múltiples. Datos 2018

		Y ₅	Y ₄	Y ₃	Y ₂	Y ₁
		21.1	23.4	24.1	24.6	24.7
Y ₁	24.7	3.6	1.3	0.6	0.1	
Y ₂	24.6	3.5	1.2	0.5		
Y ₃	24.1	3	0.7			
Y ₄	23.4	2.3				
Y ₅	21.1					

En esta prueba se plantean diez contrastes de hipótesis, basadas en el cuadro de rangos múltiples. En la ecuación (14) se presentan los contrastes.

$$\begin{array}{llll}
 H_0: \mu_1 = \mu_5 & H_1: \mu_1 \neq \mu_5 & H_0: \mu_2 = \mu_4 & H_1: \mu_2 \neq \mu_4 \\
 H_0: \mu_1 = \mu_4 & H_1: \mu_1 \neq \mu_4 & H_0: \mu_2 = \mu_3 & H_1: \mu_2 \neq \mu_3 \\
 H_0: \mu_1 = \mu_3 & H_1: \mu_1 \neq \mu_3 & H_0: \mu_3 = \mu_5 & H_1: \mu_3 \neq \mu_5 \\
 H_0: \mu_1 = \mu_2 & H_1: \mu_1 \neq \mu_2 & H_0: \mu_3 = \mu_4 & H_1: \mu_3 \neq \mu_4 \\
 H_0: \mu_2 = \mu_5 & H_1: \mu_2 \neq \mu_5 & H_0: \mu_4 = \mu_5 & H_1: \mu_4 \neq \mu_5
 \end{array} \quad (14)$$

El comparador Duncan se calcula por medio de la ecuación (14) presentada a continuación.

$$CD = \left(D_{\alpha, Nodemedias, glee} \right) S_{\bar{y}} \quad (15)$$

Para el cálculo del comparador, se debe calcular el error estándar utilizando la ecuación (15), donde CM_{EE} se obtiene de la tabla 6 (1.668) y r representa el número total de medias.

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{CM_{EE}/r} \quad (16)$$

Los valores de D_{α} al 5% de nivel de significancia, se encuentran en la tabla de rangos estudentizados. En la tabla 14 se presentan los cálculos de los comparadores Duncan.

Tabla 14. Cálculo de comparadores Duncan. Datos 2018

No de Medias	2	3	4	5
D al 5%	2.95	3.1	3.18	3.25
Sy	0.334	0.334	0.334	0.334
CD	0.99	1.04	1.06	1.09

Comparación de diferencia de medias y comparadores.

$$\begin{array}{|l|l|} \hline |Y_1 - Y_5 \geq 0.99| & 3.6 \geq 0.99 \\ |Y_1 - Y_4 \geq 1.09| & 1.3 \geq 1.09 \\ |Y_1 - Y_3 \geq 1.06| & 0.6 < 1.06 \\ |Y_1 - Y_2 \geq 1.04| & 0.1 < 1.04 \\ |Y_2 - Y_5 \geq 0.99| & 3.5 \geq 0.99 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|l|l|} \hline |Y_2 - Y_4 \geq 1.04| & 1.2 \geq 1.04 \\ |Y_2 - Y_3 \geq 0.99| & 0.5 < 1.09 \\ |Y_3 - Y_5 \geq 1.04| & 3 \geq 1.04 \\ |Y_3 - Y_4 \geq 0.99| & 0.7 < 0.99 \\ |Y_4 - Y_5 \geq 1.06| & 2.3 \geq 1.06 \\ \hline \end{array} \quad (17)$$

Se concluye que existe diferencia significativa en la temperatura promedio para los siguientes pares de medias: μ_1 (9:00 A.M.) y μ_5 (9:00 P.M.), μ_1 (9:00 A.M.) y μ_4 (6:00 P.M.), μ_2 (12:00 P.M.) y μ_5 (9:00 P.M.), μ_2 (12:00 P.M.) y μ_4 (6:00 P.M.), μ_3 (3:00 P.M.) y μ_5 (9:00 P.M.), μ_4 (6:00 P.M.) y μ_5 (9:00 P.M.). Esto permite concluir que la hora del día que tiene un impacto sobre la igualdad de medias es la media μ_5 , las 9:00 P.M.

Ahora, aplicando la prueba para los datos obtenidos en 2019, se ordenan las medias presentadas en los parámetros del modelo 2019 y se presentan en la tabla 15.

Tabla 15. Cuadro de medias ordenadas de forma ascendente. Datos 2019

Medias	Valores
$\bar{Y}_5 = 9:00$ P.M.	23.0
$\bar{Y}_1 = 9:00$ A.M.	24.2
$\bar{Y}_3 = 3:00$ P.M.	24.8
$\bar{Y}_2 = 12:00$ P.M.	24.9
$\bar{Y}_4 = 6:00$ P.M.	24.9

En la tabla 16 se introduce el cuadro de rangos múltiples, que permite el diseño de los contrastes de hipótesis.

Tabla 16. Cuadro de rangos múltiples. Datos 2019

		Y₅	Y₁	Y₃	Y₂	Y₄
		23.0	24.2	24.8	24.9	24.9
Y₄	24.9	1.9	0.7	0.1	0	
Y₂	24.9	1.9	0.7	0.1		
Y₃	24.8	1.8	0.6			
Y₁	24.2	1.2				
Y₅	23.0					

En esta prueba se plantean diez contrastes de hipótesis, presentados en la ecuación (18). El comparador Duncan se calcula por medio de la ecuación (15).

$$\begin{array}{llll} H_0: \mu_4 = \mu_5 & H_1: \mu_4 \neq \mu_5 & H_0: \mu_2 = \mu_1 & H_1: \mu_2 \neq \mu_1 \\ H_0: \mu_4 = \mu_1 & H_1: \mu_4 \neq \mu_1 & H_0: \mu_2 = \mu_3 & H_1: \mu_2 \neq \mu_3 \\ H_0: \mu_4 = \mu_3 & H_1: \mu_4 \neq \mu_3 & H_0: \mu_3 = \mu_5 & H_1: \mu_3 \neq \mu_5 \\ H_0: \mu_4 = \mu_2 & H_1: \mu_4 \neq \mu_2 & H_0: \mu_3 = \mu_1 & H_1: \mu_3 \neq \mu_1 \\ H_0: \mu_2 = \mu_5 & H_1: \mu_2 \neq \mu_5 & H_0: \mu_5 = \mu_1 & H_1: \mu_5 \neq \mu_1 \end{array} \quad (18)$$

Para el cálculo del comparador, fórmula presentada en la ecuación (16), se debe calcular el error estándar, donde CM_{EE} se obtiene de la tabla 7 (1.299) y r represente el número total de medias.

Los valores de D_{α} al 5% de nivel de significancia, se encuentran en la tabla de rangos estudentizados de Duncan. En la tabla 17 se presentan los cálculos de los comparadores Duncan.

Tabla 17. Cálculo de comparadores Duncan para las mediciones. Datos 2019

No. de Medias	2	3	4	5
D al 5%	2.95	3.1	3.18	3.25
Sy	0.51	0.51	0.51	0.51
CD	1.51	1.58	1.62	1.68

Comparación de diferencia de medias y comparadores.

$$\begin{array}{|l|l|} \hline |Y_4 - Y_5 \geq 1.68| & 1.9 \geq 1.68 \\ |Y_4 - Y_1 \geq 1.62| & 0.7 < 1.62 \\ |Y_4 - Y_3 \geq 1.58| & 0.1 < 1.58 \\ |Y_4 - Y_2 \geq 1.51| & 0 < 1.51 \\ |Y_2 - Y_5 \geq 1.62| & 1.9 \geq 1.62 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|l|l|} \hline |Y_2 - Y_1 \geq 1.58| & 0.7 < 1.58 \\ |Y_2 - Y_3 \geq 1.51| & 0.1 < 1.51 \\ |Y_3 - Y_5 \geq 1.58| & 1.8 \geq 1.58 \\ |Y_3 - Y_1 \geq 1.51| & 0.6 < 1.51 \\ |Y_1 - Y_5 \geq 1.51| & 1.2 < 1.51 \\ \hline \end{array} \quad (19)$$

Se concluye que existe diferencia significativa en la temperatura promedio para los siguientes pares de medias: μ_4 (6:00 P.M.) y μ_5 (9:00 P.M.), μ_2 (12:00 P.M.) y μ_5 (9:00 P.M.), μ_3 (3:00 P.M.) y μ_5 (9:00 P.M.). Esto permite concluir que la hora del día que tiene un impacto sobre la igualdad de medias es la media μ_5 , las 9:00 P.M.

4. Conclusiones

- En efecto, se concluye que sí existen diferencias significativas en las medias de las temperaturas para diferentes horas de medición para ambos años, lo que valida la H_{1a} , hipótesis de investigación.
- Las tomas de temperatura que causan diferencias significativas son las realizadas a las 9:00 P.M. en ambos años, información verificada a través de las pruebas de comparación múltiple de Duncan realizadas.
- Las condiciones térmicas dentro de las instalaciones universitarias cumplen con lo reglamentado bajo la norma ISO 7730 para ambos años de medición, información que constata la hipótesis de investigación H_{1b} .
- Aunque en ambos años se ha cumplido el confort térmico, el año 2019 presentó un aumento en su temperatura promedio a comparación del año 2018. Esta diferencia se puede deber a un cambio en la humedad relativa en las aulas, distinto control de aire acondicionado o mayor presencia de lluvias.
- Para futuros estudios, se recomienda considerar otras variables dentro del experimento como cantidad de personas en el salón, tiempo de la toma de temperatura, tipo de acondicionador de aire, todo realizado en un ambiente controlado, ya que la temperatura solo es explicada en un 55.87% y 33.12% por la variable horas en los años 2018 y 2019 respectivamente.

REFERENCIAS

- [1] Laboratorio Costarricense de Metrología, “Mediciones de temperatura”, [En línea]. Disponible: <https://www.lacomet.go.cr/index.php/temperatura/mediciones-de-temperatura>
- [2] Wikipedia, “Higroscopía” [En línea]. Disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Higroscopia>
- [3] S. Romero. (2006) “Confort Ambiental”, [En línea]. Disponible: <https://es.slideshare.net/savelioromero/confort-ambiental>
- [4] N. Vega. (2018), “Descubre los efectos del calor extremo en tu organismo y cerebro”, [En línea]. Disponible: <https://blog.cognifit.com/es/efectos-calor-cerebro-cuerpo-humano-consejos/>
- [5] V. Yepes. (2013, April 24), “Definiciones básicas de diseño de experimentos”. Universitat Politècnica de Valencia. [En línea]. Disponible: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/24/definiciones-basicas-del-diseno-de-experimentos/>
- [6] M. Sosa, G. Siem and T. Alizo, “Diagnóstico de la calidad higrotérmica de ventilación en espacios representativos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU-UCV)”, *Tecnología y construcción*, vol. 22, n° 1, pp. 55-56, 2006.
- [7] Ovacen, “Cómo afecta el aire acondicionado en la salud; 10 efectos negativos y peligrosos”, [En línea]. Disponible: <https://ovacen.com/aire-acondicionado-salud/>
- [8] E. González and G. Bravo, “Sobre el confort térmico: temperaturas neutrales en el trópico húmedo”, *Palapa*, vol. 4, n° 1, pp.33-38, June 2009.
- [9] Extech, “445715: Big digit hygro-thermometer with remote probe”, [En línea]. Disponible: <http://www.extech.com/products/445715>
- [10] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Ergonomía del ambiente térmico (Norma 7730:2005)”, Quito. 2015
- [11] R.E. Walpole, R.H. Myers, S.L. Myers and K.Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. México. Pearson Education. 2007.
- [12] A. Piñeda and G. Montes, “Ergonomía ambiental: iluminación y confort térmico en trabajadores de oficinas con pantalla de visualización de datos”, *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, vol. 1, n° 2, pp.60-66, 2014.